

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-050961

(43) Date of publication of application : 18.02.1997

(51)Int.Cl.

H01L 21/20
H01L 21/268
H01L 27/12
H01L 29/786
H01L 21/336
H01S 3/00

(21)Application number : 08-158848 (71)Applicant : SEMICONDUCTOR ENERGY
LAB CO LTD

(22)Date of filing : 30.05.1996 (72)Inventor : YAMAZAKI SHUNPEI
TANAKA KOICHIRO

(30)Priority

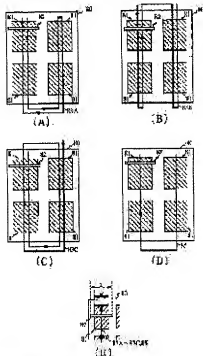
Priority number : 07158645 Priority date : 31.05.1995 Priority country : JP

(54) LASER TREATMENT METHOD AND LASER TREATMENT APPARATUS

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To suppress the variation in the characteristics of a plurality of semiconductor chips which are formed by a laser annealing treatment and, further, subject large area semiconductor films to a laser treatment with a high throughput.

SOLUTION: Chip forming regions 81 on which semiconductor chips are formed are provided on a substrate 80 so as to form a matrix of 2×2 . The length L of the cross section of a linear laser beam 82 is larger than the width W of the chip forming region. When the laser beam is applied, the regions where the edge parts of the laser beam 82 overlap or touch each other are moved outside the chip forming regions 81.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 28.12.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

特開平9-50961

(43) 公開日 平成9年(1997)2月18日

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/20			H 0 1 L 21/20	
21/268			21/268	Z
27/12			27/12	R
29/786			H 0 1 S 3/00	B
21/336			H 0 1 L 29/78	6 2 7 G
審査請求 未請求 請求項の数13 F D (全 14 頁) 最終頁に続く				

(21) 出願番号 特願平8-158848

(22) 出願日 平成8年(1996)5月30日

(31) 優先権主張番号 特願平7-158645

(32) 優先日 平7(1995)5月31日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000153878

株式会社半導体エネルギー研究所

神奈川県厚木市長谷398番地

(72) 発明者 山崎 舜平

神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社半

導体エネルギー研究所内

(72) 発明者 田中 幸一郎

神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社半

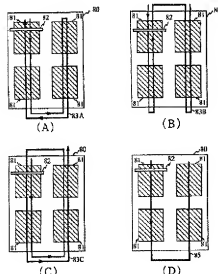
導体エネルギー研究所内

(54) 【発明の名称】 レーザー処理方法及びレーザー処理装置

(57) 【要約】

【課題】 レーザーアニール処理によって形成された、複数の半導体素子間の、特性のばらつきを抑え、かつ大面積の半導体被膜に対するレーザー処理を高いスループットで行う。

【解決手段】 基板80には半導体素子が作製される素子作製領域81が2×2のマトリクス状に配置されている。線状レーザー光82はその断面の長さLが素子作製領域の幅Wよりも長くされる。レーザー光を照射する際に、線状レーザービーム82の端部分が重なって、あるいは接して照射される領域は、素子作製領域81外部を通過する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】断面が線状のレーザー光を走査して、該レーザー光の断面の長さより大きい幅を有する半導体被膜に対してレーザー照射を行い、アニールするに際し、レーザー光の長さ方向の端部分が重なって、あるいは接して照射される領域には、半導体素子を形成しないことを特徴とするレーザー処理方法。

【請求項2】基板上の半導体被膜に対し、断面が線状のレーザー光を複数列走査しつつ照射するに際し、

前記基板上の半導体被膜は、互いに離間した複数の素子領域を有しており、

前記断面が線状のレーザー光の、断面の長さ方向の端部分が重なって照射される領域が、前記半導体被膜における各々の素子領域の外側に位置するように、前記レーザー光が走査されることを特徴とするレーザー処理方法。

【請求項3】基板上の半導体被膜に対し、断面が線状のレーザー光であって、線状レーザーの断面の長さが、前記半導体被膜の素子領域の大きさより短いレーザー光を走査しつつ照射するに際し、

前記線状レーザー光を、スリットを通して前記半導体被膜に照射して、当該線状レーザービームの長さ方向の端部分を切り、

該線状レーザー光を走査することで、前記素子領域の1部分をレーザー処理してレーザー処理部分を形成し、該素子領域のレーザー未処理部分に対し、前記レーザー処理部分を走査した際のレーザー光の長さ方向の端部と、新たに照射するスリットを通った線状レーザー光の長さ方向の端部分が接するように、レーザー処理を行うことを特徴とするレーザー処理方法。

【請求項4】基板上の半導体被膜に対し、断面が線状のレーザー光であって、線状レーザーの断面の長さが、前記半導体被膜の素子領域の大きさより短いレーザー光を走査しつつ照射するに際し、

スリットを通して当該線状レーザービームの長さ方向の端部分が切られた線状レーザー光を、前記半導体被膜に対し、走査して照射することにより、前記素子領域の1部分をレーザー処理してレーザー処理部分を形成し、該素子領域のレーザー未処理部分に対し、前記レーザー処理部分を走査した際のレーザー光の長さ方向の端部と、新たに照射するスリットを通った線状レーザー光の長さ方向の端部分が、線状レーザーの長さ方向に10～20μmの範囲で重なって接するように、レーザー処理を行うことを特徴とするレーザー処理方法。

【請求項5】基板上の半導体被膜に対し、断面が線状のレーザー光であって、線状レーザーの断面の長さが、前記半導体被膜の素子領域の大きさより短いレーザー光を走査しつつ照射するに際し、前記線状レーザー光を、スリットを通して前記半導体被膜に照射して、当該線状レーザービームの長さ方向の端部分を切り、

該線状レーザー光を走査することで、前記素子領域の1部分をレーザー処理してレーザー処理部分を形成し、該素子領域のレーザー未処理部分に対し、前記レーザー処理部分を走査した際のレーザー光の長さ方向の端部と、新たに照射するスリットを通った線状レーザー光の長さ方向の端部分が接するように、レーザー処理を行いかつ、該接する位置は、その後の工程において、半導体素子が設けられない位置であることを特徴とするレーザー処理方法。

【請求項6】基板上の半導体被膜に対し、断面が線状のレーザー光であって、線状レーザーの断面の長さが、前記半導体被膜の素子領域の大きさより短いレーザー光を走査しつつ照射するに際し、

スリットを通して当該線状レーザービームの長さ方向の端部分が切られた線状レーザー光を、前記半導体被膜に対し、走査して照射することにより、前記素子領域の1部分をレーザー処理してレーザー処理部分を形成し、該素子領域のレーザー未処理部分に対し、前記レーザー処理部分を走査した際のレーザー光の長さ方向の端部と、新たに照射するスリットを通った線状レーザー光の長さ方向の端部分が、線状レーザーの長さ方向に10～20μmの範囲で重なって接するように、レーザー処理を行い、

該接する位置は、その後の工程において、半導体素子が設けられない位置であることを特徴とするレーザー処理方法。

【請求項7】請求項1～請求項6に記載の基板は、液晶ディスプレイを構成するものであることを特徴とするレーザー処理方法。

【請求項8】請求項1～6において、前記素子領域は2n×2n（nは零を除く自然数）のマトリクス状に配置され、前記レーザー光は所定の方向に平行に前記素子領域に対して相対的に走査されることを特徴とするレーザー処理方法。

【請求項9】基板に形成された半導体薄膜に線状のレーザー光を走査しながら、照射するレーザー処理装置において、レーザー光を発振する手段と、前記レーザー光をその断面が線状のビームに整形するビーム整形手段と、前記基板を固定する固定手段と、該固定手段を回転移動、水平移動するための駆動手段とを有し、前記駆動手段により、前記固定手段を駆動することにより、前記線状ビームは前記基板に対して相対的に走査され、

前記基板に半導体薄膜を利用して半導体素子を作製する際に、前記線状ビームの端部が、前記基板の半導体素子が作製される領域を通過しないように、前記線状ビームを走査することを特徴とするレーザー処理装置。

【請求項10】基板に形成された半導体薄膜に線状のレーザー光を走査しながら、照射するレーザー処理装置において、

レーザー光を発振するレーザー光発振手段と、前記レーザー光をその断面が線状のビームに整形するビーム整形手段と、

前記基板を固定する固定手段と、該固定手段を回転移動、水平移動するための駆動手段を有し、

前記駆動手段により、前記固定手段を駆動することにより、前記線状ビームは前記基板に対して相対的に走査され、

前記半導体薄膜を利用して前記基板の所定の領域に半導体素子を作製する際に前記線状ビームは、その端部が前記半導体素子が作製される領域を通過しないように、かつ前記半導体素子が作製される領域に対して一方に走査され、

前記ビーム整形手段において、前記レーザー光は前記半導体素子が作製される領域の前記走査方向に直交する方向の幅より長い線状ビームに整形されることを特徴とするレーザー処理装置。

【請求項11】請求項9又は10において、前記ビーム整形手段はスリットを有することを特徴とするレーザー処理装置。

【請求項12】請求項9又は10において、隣合う走査経路を通過する前記線状ビームは、長さ方向の端部が重なるように走査されることを特徴とするレーザー処理装置。

【請求項13】請求項9又は10において、隣合う走査経路を通過する前記線状ビームは、長さ方向の端部が接するように走査されることを特徴とするレーザー処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、非単結晶の結晶性シリコン膜を有する基板上に形成する薄膜トランジスタ(TFT)等の半導体素子の作製に関わる光アニールの工程に使用されるレーザー処理方法及びレーザー処理装置に関する。

【0002】

【従来の技術】最近、絶縁基板上に、薄膜状の活性層(活性領域ともいう)を有する絶縁ゲイト型の半導体装置の研究がなされている。特に、薄膜状のゲイトトランジスタ、いわゆる薄膜トランジスタ(TFT)が熱心に研究されている。これらは、利用する半導体の材料・結晶状態によって、アモルファスシリコンTFTや結晶性シリコンTFTと言うように区別されている。結晶性シリコンとは言っても、単結晶ではない非単結晶のものである。したがって、これらは非単結晶シリコンTFTと総称される。

【0003】一般にアモルファス状態の半導体の電界移動度は小さく、したがって、高速度動作が要求されるTFTには利用できない。また、アモルファスシリコンでは、P型の電界移動度は著しく小さいので、Pチャネル型のTFT(PMOSのTFT)を作製することが出来ず、したがって、Nチャネル型TFT(NMOSのTFT)と組み合わせて、相補型のMOS回路(CMOS)を形成することができない。

【0004】一方、結晶性半導体は、アモルファス半導体よりも電界移動度が大きく、したがって、高速度動作が可能である。結晶性シリコンでは、NMOSのTFTだけでなく、PMOSのTFTも同様に得られるのでCMOS回路を形成することが可能である。

【0005】非単結晶の結晶性シリコン膜は、気相成長法によって得られたアモルファスシリコン膜を、長時間適切な温度(通常は600℃以上)で熱アニールするか、レーザー等の強光を照射すること(光アニール)によって得られた。

【0006】しかしながら、絶縁基板として安価で加工性に富むガラス基板を用いる場合、熱アニールのみで電界移動度の十分に高い(CMOS回路を形成することが可能な程度に高い)結晶性シリコン膜を得ることは困難を極めた。というのは、前述のようなガラス基板は一般に歪み点温度が低く(600℃程度)、移動度が十分に高い結晶性シリコン膜を得るために必要な温度まで、基板温度を高めることができないからである。

【0007】一方、ガラス基板をベースにしたシリコン膜の結晶化に光アニールを用いる場合、基板の温度をあまり高めることなく、シリコン膜にのみ高いエネルギーを与えることが可能である。よって、ガラス基板をベースにしたシリコン膜の結晶化には、光アニールの技術が非常に有効であると考えられる。

【0008】現状では、光アニールの光源としては、エキシマレーザーのような大出力パルスレーザーが最も好適である。このレーザーの最大エネルギーはアルゴンイオン・レーザー等の連続発振レーザーに比べ非常に大きく、したがって、数 cm^2 以上の大きなスポットを用いて、より量産性を上げることができた。しかしながら、通常用いられる正方形もしくは長方形の形状のビームでは、1枚の大きな面積の基板を処理するには、ビームを上下左右に移動させる必要があり、量産性の面で依然として改善する余地があった。

【0009】これに關しては、ビームを線状に変形し、ビームの長さ(線状ビーム断面の長手方向の大きさ)を、処理すべき基板を越える長さとし、このビームを基板に対して相対的に移動して走査することによって、大きく改善できた。ここで走査とは、線状レーザーを線幅方向(線状ビーム断面の長手方向と直交する方向)に移動しながら、且つその照射領域が分断されないように、重ねながら照射すること意味する。また、一般に線状

レーザー光を大面積に渡って照射する際には、走査経路が平行に成るようにされている。

【0010】また、光アニールの前に、熱アニールを行うことでさらに結晶性の高いシリコン膜を製作できる。熱アニールによる方法に関しては、特開平6-244104に記述されるように、ニッケル、鉄、コバルト、白金、パラジウム等の元素（以下、結晶性触媒元素、または、単に、触媒元素という）が、アモルファスシリコンの結晶化を促進する効果を利用することにより、通常の場合よりも低温・短時間の熱アニールにより結晶性シリコン膜を得ることができる。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記線状レーザーの照射は、その最大エネルギーの関係上、その線状レーザービームの長さ（レーザービーム断面の長手方向の長さ）は、長くて20cm程度に加工するの限界であった。

【0012】それ以上の長さに加工すると、該レーザービームのエネルギー密度が、例えば非結晶性シリコン膜を結晶化するには不十分なものとなってしまう。よって、大面積の基板を用い、線状レーザーの長さを越える領域に対してレーザー処理を行う場合、レーザービームの走査を、上下左右に、すなわち、線幅方向と、長さ方向の両方に、移動させる必要があった。図13に従来のレーザービームの走査経路を模式的に示す。

【0013】図13(A)は線状レーザービームの断面図であり、は図13(B)は被照射面を上から見た図である。図13(A)に示すように、線状レーザービーム1の端部1aは完全な矩形となっており、この部分のエネルギー密度は分散している。

【0014】図13(B)に示すように、線状レーザービーム1は2本の走査経路2、3に沿って、走査される。例えば、線状レーザービーム1は左側の走査経路2に沿って下方に走査された後、右側の走査経路3に沿って下方に向かって走査される。この際に、線状レーザービーム1の端部1aが重なるように走査する必要があるが、線状レーザービーム1の端部1aをどの様に重ね合わせるか問題となる。図13(B)において、矩形で示す領域4は、被照射面において線状レーザービーム1の端部1aが重なった領域が走査された領域である。

【0015】しかしながら、一般に線状レーザービーム1の端部1aにおけるエネルギー密度を制御するのは困難であるため、領域4およびその近傍に作製される半導体素子は、他の部分に設けられる素子に比べ、特性のばらつきが目立つ。このため、領域4の半導体材料は半導体素子の加工には向きである。

【0016】上記の問題点の対策として、スリットを介してレーザービームを照射することにより、エネルギー密度の制御が確し長い長さ方向の端部分を遮光して、レーザービームの端部を整形している。図14(A)は、ス

リットにより整形された線状レーザービームの断面図であり、は図14(B)はレーザービームの走査経路を模式図であり、被照射面を上からみた図である。

【0017】図13(A)に示すように、スリットを経ることにより、レーザービーム5の端部5aは矩形状に整形されるため、端部5aにおけるエネルギー密度の分布は、図13の線状レーザービーム1よりも均一になる。

【0018】図14(B)に示すように線状レーザービーム5を照射する場合には、例えば線状レーザービーム5を左側の走査経路6に沿って下方に走査した後、右側の走査経路7に沿って下方に向かって走査するにすればよい。この際に、線状レーザービーム5の端部5aが重なるように走査するが、レーザービーム5の端部5aは矩形状に整形され、そのエネルギー密度分布は均一なため、8で示すように、線状レーザービーム5の端部5aが接する程度に重ねればよく、端部5aが重なる領域8を縮小することができる。

【0019】しかしながら、スリットを用いレーザービーム5の端部5aのエネルギー密度を制御しても、依然として、レーザービーム5の端部5aが重なっている走査される領域8に作製される半導体素子の特性は、他の領域に作製された素子に比べ、その特性のばらつきが顕著である。

【0020】本発明の目的は、上述の問題点を解消して、大面積の半導体被膜に対するレーザーアニールの工程を、高いスループットで行い得るレーザー処理方法及びレーザー処理装置を提供することにある。

【0021】また本発明の他の目的は、複数の半導体素子の特性のばらつきを抑えることを可能にする大面積の半導体被膜に対するレーザー処理方法及びレーザー処理装置を提供することにある。

【0022】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、本発明の構成の一つは、断面が線状のレーザー光を走査して、該レーザー光の断面の長さより大きい幅を有する半導体被膜に対してレーザー照射を行い、アニールするに際し、レーザー光の長さ方向の端部分が重なって、あるいは接して照射される領域には、半導体素子を形成しないことを特徴とするレーザー処理方法である。

【0023】本発明の他の構成は、基板上の半導体被膜に対し、断面が線状のレーザー光を複数走査しつつ照射するに際し、前記基板上の半導体被膜は、互いに隣接した複数の素子領域を有しており、前記断面が線状のレーザー光の、断面の長さ方向の端部分が重なって照射される領域が、前記半導体被膜における各々の素子領域の外側に位置するように、前記レーザー光が走査されることを特徴とするレーザー処理方法である。

【0024】本発明の他の構成は、基板上の半導体被膜に対し、断面が線状のレーザー光であって、線状レーザーの断面の長さか、前記半導体被膜の素子領域の大きさ

より短いレーザー光を走査しつつ照射するに際し、前記線状レーザー光を、スリットを通して前記半導体被膜に照射して、当該線状レーザービームの長さ方向の端部分を切り、該線状レーザー光を走査することで、前記素子領域の1部分をレーザー処理してレーザー処理部分を形成し、該素子領域のレーザー未処理部分に対し、前記レーザー処理部分を走査した際のレーザー光の長さ方向の端部と、新たに照射するスリットを通った線状レーザー光の長さ方向の端部分が接するように、レーザー処理を行うことを特徴とするレーザー処理方法である。

【0025】本発明の他の構成は、基板上の半導体被膜に対し、断面が線状のレーザー光であって、線状レーザーの断面の長さが、前記半導体被膜の素子領域の大きさより短いレーザー光を走査しつつ照射するに際し、スリットを通して当該線状レーザービームの長さ方向の端部分が切られた線状レーザー光を、前記半導体被膜に対し、走査して照射することにより、前記素子領域の1部分をレーザー処理してレーザー処理部分を形成し、該素子領域のレーザー未処理部分に対し、前記レーザー処理部分を走査した際のレーザー光の長さ方向の端部分と、新たに照射するスリットを通った線状レーザー光の長さ方向の端部分が、線状レーザーの長さ方向に10～20 μ mの範囲で重なって接するように、レーザー処理を行うことを特徴とするレーザー処理方法である。

【0026】本発明の他の構成は、基板上の半導体被膜に対し、断面が線状のレーザー光であって、線状レーザーの断面の長さが、前記半導体被膜の素子領域の大きさより短いレーザー光を走査しつつ照射するに際し、前記線状レーザー光を、スリットを通して前記半導体被膜に照射して、当該線状レーザービームの長さ方向の端部分を切り、該線状レーザー光を走査することで、前記素子領域の1部分をレーザー処理してレーザー処理部分を形成し、該素子領域のレーザー未処理部分に対し、前記レーザー処理部分を走査した際のレーザー光の長さ方向の端部と、新たに照射するスリットを通った線状レーザー光の長さ方向の端部分が接するように、レーザー処理を行いかつ、該接する位置は、その後の工程において、半導体素子が設けられない位置であることを特徴とするレーザー処理方法である。

【0027】本発明の他の構成は、基板上の半導体被膜に対し、断面が線状のレーザー光であって、線状レーザーの断面の長さが、前記半導体被膜の素子領域の大きさより短いレーザー光を走査しつつ照射するに際し、スリットを通して当該線状レーザービームの長さ方向の端部分が切られた線状レーザー光を、前記半導体被膜に対し、走査して照射することにより、前記素子領域の1部分をレーザー処理してレーザー処理部分を形成し、該素子領域のレーザー未処理部分に対し、前記レーザー処理部分を走査した際のレーザー光の長さ方向の端部分と、新たに照射するスリットを通った線状レーザー光の長さ

方向の端部分が、線状レーザーの長さ方向に10～20 μ mの範囲で重なって接するように、レーザー処理を行い、該接する位置は、その後の工程において、半導体素子が設けられない位置であることを特徴とするレーザー処理方法である。

【0028】また、上記構成において、基板は、液晶ディスプレイを構成するものであることを特徴とする。

【0029】

【作用】本発明は、線状のレーザー光を走査して、レーザービームの断面の長さより大きい幅を有する半導体被膜に対してレーザー照射を行い、アニールするに際し、図12に示すようなレーザービーム1、5の端部1a、5aが重なって照射される領域には、半導体素子を形成しないことを特徴とする。

【0030】言い換えれば、レーザービームの長さ方向の端部分が重なって、あるいは接して照射される領域が、半導体被膜の素子領域（半導体素子が設けられる領域）上に位置しないように制御して、レーザー照射を行うことを特徴とする。

【0031】このようにすれば、基板がどんなに大面積化され、被照射領域が大きくなっても、高いスループットでレーザーアニールを行え、かつ、半導体素子間の特性のばらつきを抑えることが可能となる。

【0032】

【実施例】

〔実施例1〕 図1～図3は本実施例のレーザー照射装置の構成図であり、図1は上面図であり、図2は図1における点線A-A'による断面図であり、図3は図1における点線B-B'による断面図である。本実施例のレーザー照射装置はマルチチャンバー形式の装置であり、また多数の基板（試料）を1枚ずつ連続して処理することができる枚板式の装置である。

【0033】処理すべき基板10はカートリッジ11に多数枚収納され、カートリッジ11ごと装置に搬入することになっている。

【0034】装置内で基板10を搬送するための基板搬送室13には、ゲイトバルブ14～15により、カートリッジ搬入搬出室17、加熱室18、レーザー照射室19がそれぞれ連結されている。基板搬送室13、カートリッジ搬入搬出室17、加熱室18、レーザー照射室19は気密保持可能されており、それぞれガスや不活性ガス等を供給するためのガス供給系20～23が上部に接続され、更に真空ポンプ25～28が接続された排気系29～32が下部に接続されている。これにより、基板搬送室13、カートリッジ搬入搬出室17、加熱室18、レーザー照射室19における雰囲気、圧力等を制御可能とされている。

【0035】基板搬送室13には、ロボットアーム33が設けられ、基板10を1枚ずつカートリッジ搬入搬出室17、レーザー照射室19、又は加熱室18へと移送す

ることができる。更にゲイトバルブ14側にアライメント機構34が設けられており、基板10とロボットアーム33との位置合わせがされる。

【0036】加熱室18において、エレベータ35上に基板10を多数枚収納することが可能であり、抵抗等から成る加熱手段36によって基板10を所定の温度に加熱することができる。

【0037】また、レーザー照射室19には、基板10を載置するためのステージ37が設けられている。ステージ37は基板10を加熱するための加熱手段を有し、また図示しない案内機構、モータ等により、図1の紙面内において二次元方向に水平移動自在とされ、さらに紙面に直交する軸を中心に回転自在とされている。更にレーザー照射室19の上には、装置外部から入射されたレーザー光が入射する石英窓38が設けられている。

【0038】図2に示すように、装置外部には、レーザー照射手段39が設けられ、レーザー照射手段39のレーザー光の出射方向の光路41上には、ミラー40が配置され、ミラー40により屈曲された光路41上にレーザー照射室19の石英窓38が設けられて、レーザー照射手段39から入射されたレーザー光はミラー40で反射され、石英窓38を経て、ステージ37上に配置された基板10に照射される。

【0039】図4はレーザー照射手段39の概略の構成図であり、レーザーを発振する発振器51の出射方向の光路50上には、全反射ミラー52、53が配列され、全反射ミラー53の反射方向の光路50上には増幅器54、複数のフィルタ55a～55dから成る減衰手段55、レーザー光を線状に整形するための光学系56が順次に配置されている。

【0040】減衰手段55はレーザーエネルギーを調節するためのものであり、フィルタ55a～55dは透過光のエネルギーを減衰する作用を有し、これらの透過率は互いに異なり、本実施例では、フィルタ55a～55dの透過率をそれぞれ96%、92%、85%、77%とする。これらのフィルタ55a～55dは図示しない電磁石、モータ等の駆動手段により、光路50から独立に押縮自在とされている。フィルタ55a～55dを適宜に組み合わせることにより、透過率57～96%範囲のフィルタを形成することができる。例えば、透過率96%のフィルタ55aと92%の減光フィルタ55bとを組み合わせること、透過率88%の減光フィルタを得ることができる。

【0041】なお、フィルタ55a～55dは石英に酸化ハフニウムと二酸化珪素とを層状に交互にコーティングしたものであり、減光フィルタ55a～55dの透過率がコーティングされた層数に依存する。また本実施例では減衰手段55のフィルタ55a～55dの枚数を4枚としたが、この枚数に限定されるものではなく、フィルタの枚数、その透過率等は、レーザーエネルギーを適

に調整することができるように決定すればよい。

【0042】図5、図6は光学系56の構成図であり、図6は図5の光路50に沿った断面図に相当する。図5、図6に示すように、光路50上には、入射方向から順次に、シンドリカル凹レンズ61、シンドリカル凸レンズ62、互いに直交する軸を有するフライアイレンズ63と64、シンドリカル凸レンズ65、66、全反射ミラー67が配列され、全反射ミラー67の反射方向の光路上にはシンドリカルレンズ68が配置されている。

【0043】図4に示すレーザー照射手段39において、発振器51で発振されたレーザー光は全反射ミラー52、53でそれぞれ反射され、増幅器54に入射される。増幅器54においてレーザー光は増幅されて、全反射ミラー55、56でそれぞれ反射されて、減衰手段55を経て、光学系56に達して、図5、図6に示すようにシンドリカル凹レンズ61、シンドリカル凸レンズ62、フライアイレンズ63、64を通ることにより、レーザー光のエネルギー分布はガウス分布型から矩形状分布に変化される。さらに、シンドリカル凸レンズ65、66を通過して、全反射ミラー67で反射されて、シンドリカルレンズ68によって集束されて、その焦点面fにおいて線状ビーム像に結像される。この線状ビーム像は図6において、紙面に垂直な方向に長手方向を有する。

【0044】レーザービームの形状は光学系56に入射する直前は $3 \times 2 \text{ cm}^2$ 程度の矩形であるが、光学系56を経ることによって $10 \sim 30 \text{ cm}$ 、幅0.1～1 cm程度の細長い線状ビームに成形される。

【0045】図1～図3に示すレーザー照射装置により、レーザーエネルギーをする場合には、まず、ゲイトバルブ14～16を閉鎖して、基板搬送室13、レーザー照射室19、加熱室18を窒素ガスで充満させる。

【0046】次に、基板10が多数枚収納されたカートリッジ11をカートリッジ搬入搬出室17に外部から搬入する。カートリッジ搬入搬出室17には、図示しない扉が設けられており、この扉を開閉させることにより、カートリッジ11の搬入・搬出を行う。カートリッジ11をカートリッジ搬入搬出室17に搬入した後に、扉を閉めて、カートリッジ搬入搬出室17を密閉状態にして、ガス供給系21から窒素ガスを供給して、カートリッジ搬入搬出室17を窒素ガスで充満させる。なお、カートリッジ搬入搬出室17は特に減圧状態とはせずに大気圧状態とする。次にゲイトバルブ14とゲイトバルブ15を開ける。ゲイトバルブ14は一連の工程が終了するまで、開放した状態としてよい。

【0047】ロボットアーム33によって、カートリッジ搬入搬出室17に設置されたカートリッジ11から基板10を1枚ずつ取り出し、アライメント機構34に載置して、一旦ロボットアーム33と基板10との位置合

わせをした後に、再びロボットアーム33で基板10を取り上げ、加熱室18に移送する。加熱室18に基板10が移送される毎に、エレベータ35が上昇又は下降して、基板10が順次に積層された状態で収納される。

【0048】加熱室18所定の枚数の基板10基板を搬入した後に、ゲイトバルブ15を閉鎖して、加熱手段36により基板10が加熱される。基板10が所定の温度に加熱されると、ゲイトバルブ15が開放され、ロボットアーム33により基板10が加熱室18から基板搬送室13に移送され、アライメント機構34上に載置され、再び位置合わせが行われる。

【0049】ゲイトバルブ16が開けられると、ロボットアーム33によりアライメント機構34上の基板10がレーザー照射室19のステージ37に搬送され、ゲイトバルブ15とゲイトバルブ16とが閉鎖される。ゲイトバルブ15は基板の搬出が行われる毎に閉鎖することが好ましい。これは、加熱室18の雰囲気により、ロボットアーム33等の機械的な構成に熱的な影響が及ばないようにするためである。

【0050】ゲイトバルブ16を閉鎖した後に、レーザー照射手段39から線状ビームが射出され、線状レーザーはミラー40、右窓38を経て、ステージ37上の基板10に照射される。ステージ37が回転、水平移動することにより、所定の走査経路で線状レーザーが基板10に照射される。なお、レーザー光を照射する間は、ステージ37に備えられた加熱手段により基板10が加熱室18における温度と同じ温度に加熱され、熱的な変動が抑制されている。レーザー光の照射が終了すると、ゲイトバルブ16が開放され、ロボットアーム33により基板10がカートリッジ搬入搬出室17内のカートリッジ11に収納される。こうして1枚の基板10に対する処理が終了する。

【0051】1枚の基板10の処理が終了したら、ゲイトバルブ15が開放されて、ロボットアーム33により次の基板10が加熱室18から取り出されて、レーザー照射室19に移送されて、ステージ37に搬送されて、レーザー光が照射される。こうして、加熱室404に収納されている基板10に対して、1枚づつレーザー光が照射される。全ての工程が終了すると、処理済の基板10が全てカートリッジ搬入搬出室17に設置したカートリッジ11に収納される。このカートリッジ11をカートリッジ搬入搬出室17から取り出して、次の工程に移ればよい。

【0052】加熱室18での加熱温度は、非晶質珪素膜が結晶化する温度以下の温度とする必要がある。これは、基板10によって加熱室に入っている時間が異なるからである。一般的には、加熱室18での加熱温度は200～400℃程度に選択される。またこの加熱温度は、レーザー光が照射される際における基板10の加熱温度と同じ温度とする必要がある。

【0053】〔実施例2〕 本実施例では、線状レーザービームの幅を越えるサイズの基板を用いて、半導体素子を作製するための結晶性シリコン膜を作製する例を示す。図7に結晶性シリコン膜の作製工程図を示す。

【0054】図7(A)に示すように、ガラス基板71(本実施例では360mm×460mmのコーニング7059を用いる)上に、厚さ2000Åの地下膜72となる酸化珪素膜と、厚さ500Åのアモルファスシリコン膜73を、プラズマCVD法により連続的に成膜した。

【0055】そして、スピンコート法により10ppmの酢酸ニッケル水溶液をアモルファスシリコン膜73表面に塗布し、乾燥して、ニッケル層74を形成した。酢酸ニッケル水溶液には界面活性剤を添加することにより、ニッケル層74は極めて薄いので、膜状となっているとは限らないが、以後の工程に於ける問題はない。

【0056】図7(B)に示すように、550℃で4時間熱アニールすることにより、アモルファスシリコン膜73を結晶化させて、結晶性シリコン膜75を得る。加熱により、ニッケル層74のニッケルが結晶の核の役割を果たし、アモルファスシリコン膜73の結晶化を促進させる。このため、550℃、4時間という低温(コーニング7059の重み点温度以下)、短時間で結晶性シリコン膜75を得ることができると。

【0057】なお、結晶性シリコン膜75における触媒元素の濃度は、 $1 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{17}$ 原子/cm²であると好ましかった。 1×10^{15} 原子/cm²以下の濃度であると、結晶化を促進させる触媒効果を得ることが困難になり、 1×10^{17} 原子/cm²以上の高濃度では、シリコンに金属的性質が表れて、半導体特性が消滅してしまうためである。本実施例において、結晶性シリコン膜75中の触媒元素の濃度は膜中における最小値で $1 \times 10^{17} \sim 5 \times 10^{18}$ 原子/cm²であった。なお、これらの値は、2次イオン質量分析法(SIMS)により分析、測定した。

【0058】このようにして得られた結晶性シリコン膜75の結晶性をさらに高めるために、図7(C)に示すように、大出力パルスレーザーであるエキシマレーザーを該膜75に照射して、より結晶性の優れた結晶性シリコン膜76を形成する。

【0059】レーザーを照射する際には、図1～6に示す装置を使用して、KrFエキシマレーザー(波長248nm、パルス幅30nsec)を1mm×185mm線状に整形し、まず、220mJ/cm²程度のエネルギーでレーザービームを照射して、次にレーザーのエネルギー密度を100mJ/cm²～500mJ/cm²の範囲で、例えば370mJ/cm²で照射する。また、被照射物の1点に注目すると、2～20ショットのレーザー光が照射されるように、レーザービームの走査速度、矢速には、基板71を搬送するステージ37の移

動速度を調節する。

【0060】なお、レーザーエネルギーの 220 mJ/cm^2 から 370 mJ/cm^2 への切り替えは、図4に示すレーザー照射手段39において、発振器51の出力を一定にした状態で、減衰手段55のフィルタ55a～55dを選択的に光路50に挿入・退避させることにより行う。また、レーザー照射時の基板温度は 200°C とする。

【0061】このように、照射エネルギーを変えて、照射する方法を多段階照射と呼ぶこととする。本実施例の場合は2回照射するため2段階照射となる。2段階照射とすることより、1段階照射よりも結晶性シリコン膜76の結晶性をより向上させることができる。なお、1段階照射とする場合には、レーザーのエネルギー密度を $100\text{ mJ/cm}^2 \sim 500\text{ mJ/cm}^2$ の範囲で、例えば 370 mJ/cm^2 で照射すればよい。

【0062】図8(A)～(D)に本実施例のレーザービームの走査経路を示す。図8(A)～(D)に示すように、基板80上の被照射面上には、薄膜トランジスタが作製される矩形の素子作製領域81が 2×2 のマトリクス状に配列されている。このため、図7(C)に示すガラス基板71上において、素子作製領域81内の結晶性シリコン76のみを使用して半導体素子が作製されることとなる。半導体素子が作製された基板80は、図9に示すように4枚の素子基板86A～86Dに分割される。

【0063】また、図9に示すように、半導体素子作製後、基板80を線状レーザービームの長さ以下に分割して行うことを前提とするため、図13、図14に示すレーザービームの長さ方向の端部分が重なって照射される領域4又は8を素子作製領域81外部になるようにするために、線状レーザービーム82の長手方向の長さLは素子作製領域81の幅Wよりも長くされる。

【0064】また、2段階照射とするには、図8(A)～(C)に示すように、走査経路83a～83cは素子作製領域81それぞれに線状レーザービーム82が2回照射されるように、平行にかつ一筆描きを描くように設定される。なお、1段階照射であれば図8(D)に示すように、例えば走査経路85のように設定すればよい。また、走査経路83a～83c、85はそれぞれ同一基板80上の全ての素子作製領域80に対して、一様な方向とされている。

【0065】図8(A)～(C)又は(D)に示す走査経路に沿って線状レーザービーム83を走査するには、線状レーザービーム82を長手方向に概略直交する方向に沿って、被照射面80に対して相対的に移動しながら照射を行えばよい。実際にはレーザービーム82を移動するのではなく、図1～3に示すレーザー照射装置において、ステージ37を回転、水平移動することにより、被照射面を有する基板80を移動して、線状レーザービ

ーム82が走査経路83a、83b又は83cに沿って走査されるようにしている。

【0066】本実施例では、線状レーザービーム82の長さLよりも、素子作製領域81の幅Wが短いので、線状レーザービーム82の端部が素子作製領域81を走査することがないため、得られる結晶性シリコン膜76の膜質を均一にすることができるため、素子作製領域81に作製される半導体素子の特性を均一にすることができる。また、大面積の基板80を処理して、同じ特性を有する半導体素子が形成された基板を1度の工程で多数生産することができるので、スループットを向上させることができる。

【0067】〔実施例3〕 本実施例において、実施例2で得られた結晶性シリコン膜76を使用して、液晶表示装置の画素を駆動するための薄膜トランジスタを作製する工程に関して説明する。図10、図11に本実施例の薄膜トランジスタの作製工程を示す。

【0068】図10(A)に示すように、ガラス基板101上には、下地膜102として酸化珪素膜を 3000 \AA の厚さにプラズマCVD法又は減圧熱CVD法で堆積され、下地膜102の表面には、実施例2に示す結晶化工程に従って非晶質珪素膜が結晶化された結晶性珪素膜103が形成されている。

【0069】次に、図10(B)に示すように、結晶性珪素膜103を島状にエッチングして、素子作製領域100内の所定の位置に活性層104が多数個形成される。本実施例では、図8、図9に示すように、ガラス基板101を4分割して、同一の素子基板を4枚得ることを目的とするため、ガラス基板101上には、薄膜トランジスタが作製された矩形の素子作製領域100が 2×2 のマトリクス状に配置されている。素子作製領域100内の所定の位置に活性層104が多数個形成される。従って、結晶性珪素膜103を得る際に、素子作製領域100内部を線状レーザービームの端部が通過しないようにする。

【0070】次に、プラズマCVD法により、ゲイト絶縁膜を構成する酸化珪素膜105を $1000 \sim 1500\text{ \AA}$ 厚さに成膜して、ゲイト電極106を構成するアルミニウム膜をスパッタ法により 5000 \AA の厚さに堆積する。アルミニウムには、予め、スカンジウムを0.2重量%含有させておくと、後の加熱工程等において、ヒロックやウィスカが発生するのを抑制することができる。

【0071】次に、アルミニウム膜の表面を陽極酸化して、図示しない緻密な陽極酸化物を極薄く形成する。次に、アルミニウム膜の表面にレジストのマスク107を形成する。この際、アルミニウム膜の表面に図示しない緻密な陽極酸化物が形成されているため、レジストのマスク107を密着させて形成することができる。そして、レジストのマスク107を使用して、アルミニウム

膜をエッチングして、ゲイト電極106を形成する。

【0072】図10(C)に示すように、レジストのマスク107を残したまま、ゲイト電極106を陽極酸化して、多孔質の陽極酸化物108を4000Åの厚さに形成する。この際に、ゲイト電極106の表面にレジストのマスク107が密着しているため、多孔質の陽極酸化物108はゲイト電極106の側面のみに形成される。

【0073】次に、図10(C)に示すように、レジストのマスク107を剥離した後に、ゲイト電極106を電解溶液中で再び陽極酸化して、緻密な陽極酸化物109を1000Åの厚さに形成する。

【0074】陽極酸化物の作り分けは使用する電解溶液を変えればよく、多孔質の陽極酸化物108を形成する場合には、クエン酸、シュウ酸、クロム酸又は硫酸を3〜20%含有した酸性溶液を使用すればよい。他方、緻密な陽極酸化物109を形成する場合には、酒石酸、ほう酸、又は硝酸を3〜10%含有するエチレングリコール溶液をpHを7程度に調整した電解溶液を使用すればよい。

【0075】図11(A)に示すように、ゲイト電極106及びその周囲の多孔質の陽極酸化物108、緻密な陽極酸化物109をマスクにして、酸化珪素膜105をエッチングして、ゲイト絶縁膜110を形成する。

【0076】図11(D)に示すように、多孔質の陽極酸化物108を除去した後に、イオンドーピング法により、ゲイト電極106、緻密な陽極酸化物109、及びゲイト絶縁膜110をマスクとして、活性層104に不純物を注入する。本実施例では、Pチャネル型TFTを形成するために、ドーピングガスにフォスフィン(PH₃)を使用して、磷イオンをドーピングする。なおドーピングの際に、ゲイト絶縁膜110が半透過なマスクとして機能するように、ドーパ量、加速電圧等の条件を制御する。

【0077】ドーピングの結果、ゲイト絶縁膜110に覆われていない領域は高濃度に磷イオンが注入されて、ソース領域111、ドレイン領域112が形成される。また、ゲイト絶縁膜110のみに覆われている領域には、低濃度に磷イオンが注入されて、低濃度不純物領域113、114が形成される。ゲイト電極106の直下の領域には不純物が注入されないため、チャネル領域115が形成される。

【0078】低濃度不純物領域113、114は高抵抗領域として機能するため、オフ電流の低減に寄与する。特に、ドレイン領域112側の低濃度不純物領域113はLDDと呼ばれている。また、緻密な陽極酸化物109を十分に厚くすることにより、緻密な陽極酸化物109の直下の領域をオフセット領域とすることができ、オフ電流をより低減することができる。

【0079】ドーピング工程の後に、図1〜図3に示すレーザー照射装置において、レーザーアニールを実施し

て、ドーピングされた磷イオンを活性化する。この際のアニール条件は、レーザーのエネルギー密度は100mJ/cm²〜350mJ/cm²の範囲とし、例えば160mJ/cm²とし、また被照射面の任意の1点に着目した場合に、20〜40ショットの線状レーザービームが照射されるようにし、基板温度を200℃に保持する。また、1段階照射のため線状レーザービームは図8(D)に示す走査経路85に従って走査すればよく、その際に、線状レーザービームの端部が素子作製領域100を通過しないようにする。

【0080】レーザーアニールの後に、熱アニールを実施してもよい。この場合には、450℃の温度で2時間程度加熱すればよい。

【0081】図11(C)に示すように、プラズマCVD法により、層間絶縁物116として酸化珪素膜を5000Åの厚さに成膜する。なお、層間絶縁物116として、酸化珪素膜の単層膜の代わりに、窒化珪素膜の単層膜、又は酸化珪素膜と窒化珪素膜の積層膜を形成してもよい。次に、公知のエッチング法によって酸化珪素膜から成る層間絶縁物116をエッチングして、ソース領域111、ドレイン領域112それぞれにコンタクトホールを形成する。

【0082】次に、アルミニウム膜を4000Åの厚さにスパッタリング法により成膜し、これをパターンニングして、ソース領域111、ドレイン領域112に接続される電極117、118を形成し、パッシベーション膜119として窒化珪素膜を形成し、パッシベーション膜119にドレイン領域112側の電極118に対するコンタクトホールを形成する。次にITO膜を形成してパターンニングして電極に接続されるコンタクトホールに画素電極120を形成する。

【0083】以上の工程を経て、ガラス基板101上の素子作製領域100にはLDD構造を有するTFTが作製される。最後に、基板101を図9に示すように、素子作製領域100ごとに分断することにより、4枚の液晶表示装置のパネルを得ることができる。

【0084】なお、本実施例では、液晶表示装置の画素を駆動するためのNチャネル型の薄膜トランジスタの作製工程を説明したが、1つの素子形成領域100に周辺駆動回路を構成する薄膜トランジスタと、画素を駆動するための薄膜トランジスタを同時に形成するようにしてもよい。この場合は、周辺駆動回路を構成する薄膜トランジスタはNチャネル型の薄膜トランジスタとPチャネル型の薄膜トランジスタから成る相補型の薄膜トランジスタとなるように、公知のCMOS技術を利用して、薄膜トランジスタの導電型を制御すればよい。

【0085】【実施例4】 本実施例は基板を分断しない場合における、レーザー光の走査経路に関するものである。この場合には図13、図14に示すような線状レーザービームの端部が重なっている領域4や、接してい

る領域8が素子作製領域に配置されてしまう場合がある。この様な場合は、図13、図14に示す領域4、8が半導体素子がまたがらない(位置しない、近接しない)ように、半導体素子を配置すればよい。

【0086】例えば図10においては、薄膜トランジスタの活性層104とこれらの領域4又は8が重ならないように、活性層104が形成されない領域200を線状レーザービームの端部が通過するように、線状ビームの長さを調節すればよい。

【0087】なお、線状レーザービームの長さ方向の端部部分が重なって照射される部分(重なり部分)を、図13の領域4のようにある程度重なるか、或いは図14の領域8のように接する程度とするかは、基板上の半導体素子の密集度に依存する。

【0088】半導体素子の間隔がミリオーダーであれば、線状レーザービームの端部の形状、即ち端部におけるエネルギー密度の分布は問題にならないため、図13(A)に示すように線状レーザービーム1の端部1aを整形せずに線状レーザービームを照射することが可能である。しかし、半導体素子の間隔がミリオーダー以下になると、図14(A)に示すように、線状レーザービームをスリットにより整形して、端部を矩形形状にして、更に図14に示すように線状レーザービームの端部が接するように走査する必要がある。

【0089】更に、半導体素子の間隔が数マイクロメートルになってしまうと、たとえ図14(B)のように線状レーザーを走査しても、工程におけるアライメント等精度の限界のため、レーザービーム5の端部5aが通過した領域8に素子が形成されてしまう成れがあり、レーザービーム5の端部5aが通過した領域を避けて、素子を作製するには困難が伴う。

【0090】半導体素子として、例えば、液晶ディスプレイのパネルを作製する場合、その基板上に形成される半導体素子としての薄膜トランジスタが設けられる間隔は、 $10\mu\text{m}$ ～ $100\mu\text{m}$ 程度となる。よって、この場合はスリットを用いて、線状レーザービームの長さ方向の端部をカットすることで、線状レーザービームの重なり、即ちビームの端部が接するように線状レーザービームを走査する。この場合、当該重なり部分は $10\sim 20\mu\text{m}$ 程度の精度で密接させておけば、精度としては充分であり、この重なり部分に半導体素子を形成することなく、液晶ディスプレイのパネルを作製することが可能である。

【0091】〔実施例5〕 図8に示すように実施例2では、基板80上に素子作製領域81が 2×2 のマトリックス状に配置されている。素子作製領域に均一にレーザーが照射されるためには、基板に対して素子作製領域が対称的に配置されることが好ましく、このため、 $2n\times 2n$ (n は1以上の自然数)のマトリックス状に配置するとよい。本実施例では、図12に示すように、より大

面積の基板を使用することより、基板90上に 4×4 の素子作製領域91を配置して、1回の工程で、1枚の基板90から同一の特性を有する半導体素子が作製された基板を16枚得るようにしたものである。

【0092】線状レーザービーム92を2段階照射するには、例えば図12(A)、(B)のように走査路93A、93Bを設定すればよい。また、線状レーザービーム93が均一に照射されるように、線状レーザービーム92の長手方向の長さLは素子作製領域91の幅Wよりも長くされ、レーザービーム92の長さ方向の端部部分が重なって照射される領域が素子作製領域91外部になるようにする。

【0093】

【発明の効果】本発明により、大面積の半導体材料に対するレーザーアニールの工程を、高いスループットで行うことが可能となった。また、本発明により、大面積の半導体被膜に対するレーザーアニール処理によって形成された、複数の半導体素子間の、特性のばらつきを抑えることができた。

【0094】本発明は、線状レーザービームの幅を越える大面積のガラス基板上に、多数のTFTを作成する場合に有効である。特に該基板が液晶ディスプレイを構成するものである場合、大画面が要求されることが予想されるが、本発明はその作製を可能とするものである。このように、本発明は工業上有益である。

【図面の簡単な説明】

【図1】 実施例1のレーザー照射装置の構成図であり、上面図である。

【図2】 図1における点線A-A'による断面図である。

【図3】 図1における点線B-B'による断面図である。

【図4】 レーザー照射手段3の構成図である。

【図5】 レンズ系の構成図である。

【図6】 レンズ系の構成図であり、図5の光路に沿った断面図である。

【図7】 実施例2の結晶性素子膜の形成工程の説明図である。

【図8】 レーザービームの走査経路の説明図である。

【図9】 基板の分断の説明図である。

【図10】 実施例3のTFTの作製工程の説明図である。

【図11】 実施例3のTFTの作製工程の説明図である。

【図12】 実施例5のレーザービームの走査経路の説明図である。

【図13】 従来例のレーザービーム形状と、その走査方法の説明図である。

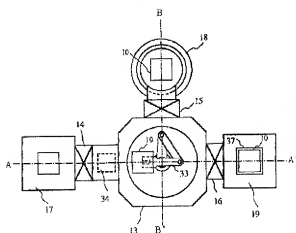
【図14】 従来例のレーザービーム形状と、その走査方法の説明図である。

【符号の説明】

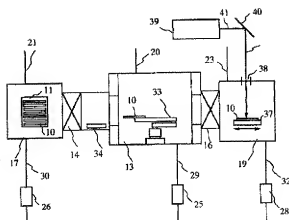
10・・・基板
 13・・・基板搬送室
 17・・・カートリッジ搬入搬出室
 18・・・加熱室
 19・・・レーザー照射室
 33・・・ロボットアーム
 34・・・アライメント機構
 36・・・加熱手段
 37・・・ステージ
 39・・・レーザー照射手段

51・・・発振器
 54・・・増幅器
 55・・・減衰手段
 71・・・ガラス基板
 73・・・非晶質珪素膜
 75・・・結晶性珪素膜
 76・・・結晶性珪素膜
 80、90・・・基板
 81、91・・・素子作製領域
 82、92、・・・線状レーザービーム
 83A～83C、85、93A、93B・・・走査経路

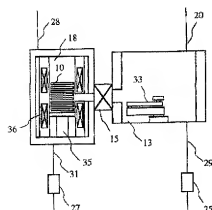
【図1】



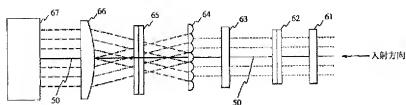
【図2】



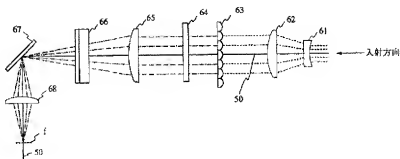
【図3】



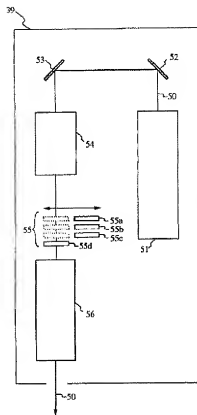
【図5】



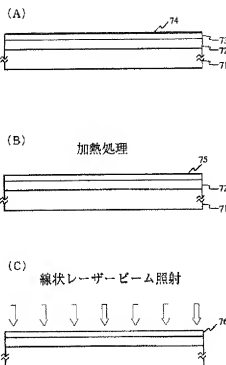
【図6】



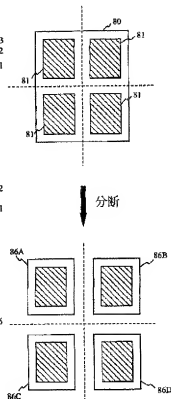
【図4】



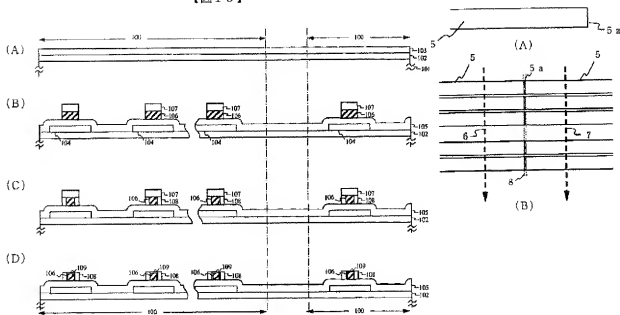
【図7】



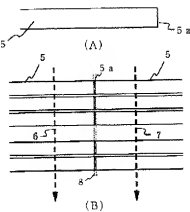
【図9】



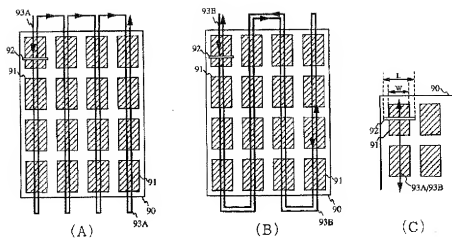
【図10】



【図14】



【図12】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁶

H01S 3/00

識別記号

序内整理番号

F I

技術表示箇所